



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ - ШТИП

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Штип

м-р Сашко Милев

**ВЛИЈАНИЕ НА КОНСТРУКТИВНИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА
ОПТОВАРУВАЊЕТО НА ЧИНИЕСТИТЕ ПРУЖИНИ НА СПОЈКИТЕ ОД
МОТОРНИ ВОЗИЛА**

- ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА -

Штип, 2019

м-р Сашко Милев

**ВЛИЈАНИЕ НА КОНСТРУКТИВНИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА
ОПТОВАРУВАЊЕТО НА ЧИНИЕСТИТЕ ПРУЖИНИ НА СПОЈКИТЕ ОД
МОТОРНИ ВОЗИЛА**

Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

КОМИСИЈА ЗА ОЦЕНКА И ОДБРАНА:

Интерен ментор:	Д-р Симеон Симеонов Редовен професор на Машински факултет, Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип
Екстерен ментор:	Д-р Петар Симоновски Редовен професор на Машински факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје

ЧЛЕНОВИ НА КОМИСИЈАТА ЗА ОЦЕНКА И ОДБРАНА:

Претседател:	Д-р Елениор Николов Вонреден професор на Воена академија „Генерал Михајло Апостолски“ – Скопје, Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип
Член:	Д-р Ристо Кукутанов Редовен професор на Машински факултет, Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип
Член:	Д-р Петар Симоновски Редовен професор на Машински факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје
Член:	Симеон Симеонов Редовен професор на Машински факултет, Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип
Член:	Д-р Радомир Цветаноски Професор на Машински факултет, Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип
Научно поле:	214 Машинство
Научна област:	21400 Општо машинство, проектирање и машински конструкции 21401 Машински елементи и технички системи 21411 Моторни возила
Датум на одбрана:	21. 02. 2020 г.
Датум на промоција:	

ПОСВЕТА И БЛАГОДАРНОСТ

Би сакал да ја изразам својата благодарност кон менторот проф. д-р Симеон Симеонов и коменторот проф. д-р Петар Симоновски за нивната ангажираност и поддршка за време на докторските студии, а особено при изработката на оваа докторска дисертација, кон фабриката за спојки Руен инокс аутомобиле од Кочани во чии што лабаратории ми беа овозможени експериментални истражувања потребни за овој труд, како и кон моето семејство за безрезервната поддршка и разбирање за време на изработката на овој труд.

Сашко Милев

ВЛИЈАНИЕ НА КОНСТРУКТИВНИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ОПТОВАРУВАЊЕТО НА ЧИНИЕСТИТЕ ПРУЖИНИ НА СПОЈКИТЕ ОД МОТОРНИ ВОЗИЛА

Краток извадок

Во оваа докторска дисертација истражувано е влијанието на конструктивните карактеристики врз оптоварувањето кај чиниестите пружини. Чиниестите пружини се составен дел на фрикционите спојки кај моторните возила. Фрикционата спојка е механизам кој се наоѓа помеѓу моторот на возилото и менувачот на брзини и се користи за пренос на вртежен момент од моторот на возилото кон трансмисијата. Истражувањата во оваа дисертација се со цел да се дојде до заклучоци кои ќе овозможат зголемување на издржливоста на чиниестите пружини. Испитувањата на оптоварувањата се вршени со користење на формулите на Almen-Lazslo, со експериментални мерења и со помош на софтвер базиран на Методот на конечни елементи. Испитувана е промената на напоните на оптоварување во зависност од бројот и местоположбата на потпорните точки на пружините. Утврдено е дека со зголемувањето на дијаметарот на кој се наоѓа потпорната точка од горната страна се постигнува порамномерна распределба на напоните во правец на зголемување на дијаметарот на пружината и при тоа максималниот напон во близина на долната потпорна точка се намалува. Испитувано е влијанието на геометрискиот облик на корените на краците врз оптоварувањето и извршена е анализа на распоредот на напоните околу корените на краците на чиниестите пружини во зависност од обликот на самиот корен, дали коренот има елипсеста, кружна или правоаголна форма, и добиени се кривите на распределба на напоните за секоја од овие форми. Пружините со елипсести и кружни отвори имаат слично однесување. При правоаголните отвори, максималниот напон се наоѓа во потесна зона околу аглите на правоаголникот, споредено со пружините со елипсести и кружни отвори. Во последниот дел истражувани се промените кои настануваат во напонската состојба кај чиниестите пружини, најпрво при промена на дебелината, а потоа и при промена на аголот на пружината, како и бројот на краците. При зголемување на

дебелината на пружината, напонот различно се менува во зависност од вредноста на дијаметарот на кој се наоѓа набљудуваниот дел и од вредноста на отклонот на пружината. Определена е и равенката на кривата на разграничување на областите на намалување и зголемување на напоните во дел од плочестиот дел од чиниестите пружини, со менување на отклонот на пружината. При промена на аголот на пружината определени се дијаграмите на промена и релативната промена на напонот за различни дијаметри од чиниестата пружина и при различни отклони на пружината и извршена е нивна анализа. Анализирани се напонската состојба за три различни вредности на бројот на краци и утврдено е дека разликата помеѓу напоните е многу мала, речиси занемарлива, а нема некоја голема разлика ниту во обликот на напонските криви за пооделните дијаметри од плочата на пружината. Изведени се и низа други заклучоци кои овозможуваат подобрување на перформансите на чиниестите пружини, во смисла на подобрување на нивната издржливост при поголеми оптоварувања и нивна примена кај возила со агресивна, брза промена на вртежниот момент што го пренесуваат фрикционите спојки.

Клучни зборови: Чиниеста пружина, фрикциона спојка, напон на пружината, отклон на пружината, дебелина на пружината, агол на пружината, број на краци.

IMPACT OF THE CONSTRUCTIVE CHARACTERISTICS ON THE LOAD ON THE DIAPHRAGM SPRINGS OF MOTOR VEHICLES CLUTCHES

Abstract:

This doctoral dissertation explores the impact of constructive characteristics on diaphragm spring stresses. The diaphragm springs are integral part of the motor vehicles friction clutches. Friction clutch is mechanism placed between the engine and the gearbox of the cars and is used to transfer torque from the engine of the vehicles to the transmission. The research in this dissertation aims to come to conclusions that will allow increased durability of diaphragm springs. The calculations of the stresses were carried out using the Almen-Lazslo formulas, with experimental measurements and by means of software based on the Finite Element Method (FEM). In this way, the model tested is verified. Then the variation of the stresses is examined depending on the number and location of the diaphragm spring support points. It is found that by increasing the diameter at which the supporting point is located on the upper side of the spring, a more even distribution of stresses in the direction of increasing the diameter of the spring is achieved, and the maximum stress near the lower supporting point decreases. The influence of the geometrical shape of the diaphragm spring finger beginning on the stress has been investigated and the distribution of the stresses around the diaphragm spring finger beginning has been analyzed depending on the shape of the beginnings itself, whether the beginning has an elliptic, circular or rectangular shape and distribution curves of the stresses for each of these forms of the finger beginnings are obtained. Diaphragm springs with elliptic and circular holes behave similarly. At rectangular holes the maximum stress is in a narrower zone around the angles of the rectangle, compared to the springs with elliptic and circular holes. The last section explores the changes in the stresses of diaphragm springs, first spring thickness is changed, then the angle of the spring, and last the number of spring beginnings is changed. As the diaphragm spring thickness increases, the stress varies depending on the diameter of the observed part of the spring and the value of the spring deflection. The equation of the curve of delimitation of the areas of decreasing and increasing

stresses in plate part of the diaphragm springs, for different values of spring deflection, is also determined . When changing the angle of the spring and spring deflection, the diagrams of stress change and the relative stress change for different diameters of the spring are determined and their analysis is performed. The stress state of the three different values of number of spring fingers was analyzed and the difference between the stresses was very small, almost negligible, and there was no significant difference in the shape of the stress curves for the individual diameters of the spring plate. A number of other conclusions have also been made to improve the performance of dense springs in terms of improving their durability at higher loads and applying them to vehicles with aggressive, rapid torque changes delivered by frictional clutches.

Key words: Diaphragm spring, friction clutch, diaphragm spring stress, deflection of the spring, spring thickness, spring angle, number of fingers of the spring.

СОДРЖИНА

1. ВОВЕД	1
2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРА, ТЕОРЕТСКИ ДЕЛ	5
• 2.1 Развој на спојките во зависност од конструктивните Форми на пружината	5
• 2.2. Општи карактеристики на чиниестите пружини	8
• 2.3 Материјали за изработка на пружини	12
• 2.4. Крутост на чиниестите пружини	16
• 2.5 Геометриски форми на чиниестите пружини	18
• 2.6 Оптоварувања кај чиниестите пружини, напонска состојба според ALMEN-LASZLO	22
• 2.7. Динамичка издржливост на чиниестите пружини	28
• 2.8. Технолошки фактори кои влијаат на издржливоста на чиниестите пружини	34
3. ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО	36
4. МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЧКАТА РАБОТА	37
5. ВЕРИФИКАЦИЈА НА ИЗБРАНИОТ МОДЕЛ НА ИСПИТУВАЊЕ	38
• 5.1 Пресметка на напоните кај чиниестата пружина според формулите на ALMEN-LASZLO	39
• 5.2. Примена на Методот на конечни елементи	45
• 5.2.1 Карактеристики на Методот на конечни елементи (МКЕ)	45
• 5.2.2 Одредување на напоните кај чиниестите пружини со користење на МКЕ	49
• 5.3 Експериментално одредување (мерење) на напоните на чиниестата пружина	53
• 5.4. Споредба на добиените резултати од пресметките и мерењата извршени според трите методи: на ALMEN-LASZLO, МКЕ и експериментални мерења	61
6. ПРОМЕНА НА НАПОНИТЕ КАЈ ЧИНИЕСТИТЕ ПРУЖИНИ ВО ЗАВИСНОСТ ОД ПОЛОЖБАТА НА ПОТПОРНИТЕ	

ТОЧКИ	63
7. ВЛИЈАНИЕ НА ГЕОМЕТРИСКИОТ ОБЛИК НА КОРЕНИТЕ НА КРАЦИТЕ ВРЗ НАПОНСКАТА СОСТОЈБА НА ЧИНИЕСТИТЕ ПРУЖИНИ ОД МОТОРНИТЕ ВОЗИЛА	71
8. ВЛИЈАНИЕ НА БРЗИНАТА НА ЛИЗГАЊЕ НА ФРИКЦИОНИТЕ ОБЛОШКИ ВРЗ ТРИБОЛОШКИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ФРИКЦИОНИТЕ СПОЈКИ КАЈ МОТОРНИТЕ ВОЗИЛА	81
9. ИСПИТУВАЊЕ НА ВЛИЈАНИЕТО НА ПРОМЕНАТА НА ОДРЕДЕНИ ПАРАМЕТРИ ВРЗ ОПТОВАРУВАЊЕТО НА ЧИНИЕСТАТА ПРУЖИНА СО ПОМОШ НА МОДЕЛИ СО МКЕ НА ЧИНИЕСТИТЕ ПРУЖИНИ	87
• 9.1 Испитување на влијанието на промената на дебелината на чиниестата пружина врз нејзиното оптоварување	89
• 9.2 Испитување на влијанието на промената на аголот на чиниестата пружина врз нејзиното оптоварување	109
• 9.3 Испитување на влијанието на промената на бројот на краците на чиниестата пружина врз нејзиното оптоварување	130
10. ЗАКЛУЧОК	142
11. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА	147
12. ПРИЛОГ	150

.....

3. ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Денес во светот, примената на чиниестите пружини е огромна, имајќи предвид дека речиси кај сите моторни возила се користат фрикциони спојки во возила, спојки со чиј што состав влегуваат чиниести пружини. Кај некои возила се користат спојки со една, а кај некои две или повеќе чиниести пружини.

Главни критериуми за оценка на фрикционите спојки, односно чиниестите пружини како нивни составни делови, се перформансите и удобноста при возењето. Со развојот на технологијата големината на комерцијалните возила постепено и константно се зголемува, се наметнува потреба од превоз на поголеми количини на товари за пократко време. Како резултат на ова се јавува потреба од развивање на чиниести пружини кои ќе овозможат пренос на поголем вртежен момент, а во исто време ќе обезбедат и работен век на спојката од 1 до 1,5 милиони километри. Удобноста при возењето е исто така многу често споменуван критериум поврзан со конструкцијата на чиниестите пружини.

Денес многу внимание се посветува и на проблемот со загадувањето на животната околина. Се настојува постепено, азбестот кој што порано најчесто се користеше кај фрикционите спојки, да се замени со друг, еколошки помалку штетен материјал.

Се проучуваат нови конструктивни облици на фрикционите спојки бидејќи воведувањето на нови модели на мотори Еуро 5, Еуро 6, со цел намалување на емисијата на штетни издувни гасови, води до користење на мотори со многу поагресивна, побрза промена на вртежниот момент, а ова пак директно влијае на напоните со кои се оптоварени чиниестите пружини и на коефициентот на триење кај облошките во фрикционите спојки. Но едноставно зголемување на димензиите на спојките, а со тоа и на чиниестите пружини, доведува до потреба од поголеми сили на притисок, а тоа пак доведува до поголемо триење, односно осипација на поголема термичка енергија.

Во овој труд се направени детални истражувања на дел од конструктивните карактеристики на чиниестите пружини, со цел да се дојде до заклучоци кои ќе овозможат подобрување на карактеристиките на спојките,

односно до зголемување на издржливоста на чиниестите пружини, а со тоа и на фрикционите спојки кај моторните возила, да се овозможи развој на чиниести пружини кои би се користеле кај фрикциони спојки кај тешки товарни возила, со носивост и до 60 тони.

За развивање модел на чиниести пружини со поголема издржливост и за способност за пренос на поголем вртежен момент не е доволно само едноставно зголемување на димензиите на деловите, бидејќи тоа доведува до зголемување на инерцијалните сили и моменти, односно до дополнително зголемување на напоните.

4. МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЧКАТА РАБОТА

Со цел детално проучување на поставената проблематика за определување на напоните кај чиниестите пружини се користат три меѓусебно независни методи.

- Првиот е аналитички метод со користење на ALMEN-LAZSLO формулите за пресметка на напоните кај чиниестите пружини;
- Вториот метод е со помош на софтверски пакет, со создавање на виртуелен модел на чиниеста пружина, со користење на Методот на конечни елементи и
- Третиот метод е со директни експериментални мерења на напоните за зададената чиниеста пружина. При секое експериментално испитување објаснета е користената опрема и начинот на спроведеното испитување.

Потоа, добиените резултати се анализираат, споредуваат и се добиваат соодветни заклучоци.

Најпрво е извршена верификација и валидација на избраниот модел на чиниеста пружина преку која што се вршени подоцнежните испитувања. Извршено и испитувања на напоните кај чиниестата пружина според трите претходно споменатите методи на испитување и е извршена анализа на добиените резултати.

Испитувана е зависноста на напонот на пружината во зависност од положбата на потпорните точки кога пружината е во рамна положба и при нејзин максимален отклон, односно при исклучување на спојката.

Влијанието на геометрискиот облик на отворите во близина на корените на краците кај чинестите пружини се исто така испитувани со користење на Методот на конечни елементи.

Се помош на виртуелни модели за чиниестата пружина, испитувано е влијанието на промената на дебелината на чиниестата пружина, аголот на пружината и бројот на краците врз вкупните напони кои се јавуваат кај пружините.

5. ВЕРИФИКАЦИЈА НА ИЗБРАНИОТ МОДЕЛ НА ИСПИТУВАЊЕ

За верификација на моделот на чиниеста пружина извршени се испитувања на чиниеста пружина со следните карактеристики:

D_a - Надворешен дијаметар на чиниестата пружина (mm)	$D_a := 395$
D_i - Внатрешен дијаметар на чиниестата пружина (mm)	$D_i = 313$
ε - Агол на свивање на пружината (степени)	$\varepsilon = 12.5$
s - Дебелина на пружината (mm)	$s = 5.21$
E - Модул на еластичност (N/mm^2)	$E = 206000$
μ - Поисонов број за пружински челик	$\mu = 0.3$
D_{a1} - Надворешен дијаметар на ослонување на спојката (mm)	$D_{a1} = 392$
D_{i1} - Внатрешен дијаметар на ослонување на спојката (mm)	$D_{i1} = 336$
ℓ - Исклучен пат (mm)	$\ell = 12$
d - Дијаметар на исклучниот лагер (mm)	$d = 120$
k_z - Коефициент на загуби	$k_z = 0,95$



Слика.5.1: Испитуваната чиниеста пружина

.....

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES):

- [1] Almen, J. O. und Laszlo A. (1936), The Uniform-section disk spring , Trans. ASME 58;
- [2] DIN, 2092 (1978), Preisgr.6 Tellerfedern-Berechn;
- [3] En L., Iangjin G. L., and Ijie F. Z. (2010), Finite element analysis of the mechanics characteristics of diaphragm spring. Automotive Engineering, 10, 892-896;
- [4] Ensar Dogrueyol (2010), Design and Development of a Clutch Test Adaptor for a Rotary Tribometer. Masters's thesis, Luleå University of Technology, Department of Engineering Science and Mathematics;
- [5] Gao, B., Lei, Y., Ge, A., Chen, H., and Sanada, K. (2011), Observer-based clutch disengagement control during gear shift process of automated manual transmission. Vehicle System Dynamics, 49(5), 685–701;
- [6] Garofalo, F., Glielmo, L., Iannelli, L., and Vasca, F. (2002), Optimal tracking for automotive dry clutch engagement. In 2002 IFAC, 15th Triennial World Congress;
- [8] Gong Yubing and Zhang Defeng (2017), Mechanism for the Forced Strengthening on the Diaphragm Spring's Load-Deflection Characteristic. International Journal of Engineering and Technology, 9(4);
- [9] Heiniger, Instut za razvoj. Fuchtel Sachs, Katalog;
- [10] Hotimir L., Zoltan D. (1990), Merni traki I primena. Novi Sad;
- [11] Karthik Krishnasamy, Francois Masse, Olivier Simon (2017), Fatigue analysis of Diaphragm spring in double dry clutch including manufacturing process. 7th International Conference on Fatigue Design, Senlis, France, 213 (2018) 606–612;
- [12] Kaya. N. (2006), Optimal design of an automotive diaphragm spring with high fatigue resistance. International Journal of Vehicle Design, Vol.40, 126 – 143;
- [13] Kuralj Stefan (1972), Termicka obrada celika. Gradjevinska kniga, Beograd;
- [14] Ma Q. F., Zhang T. S., Jing H., and Wu J. S. (2013), A study on strengthened processing affecting the load deformation properties of diaphragm spring. Automobile Technology and Material, 12, 6-10;
- [15] Mubea disc spring Handbook (1992);

- [16] Mubea (1967), Tellerfedern Handbuch, Muhr und Bender.Attendorn. April 1967;
- [17] Nam, W.-H., Lee, C.-Y., Chai, Y.-S., Kwon J.-D (2000). ,Finite Element Analysis and Optimal Design of Automobile Clutch Diaphragm-Spring. Fisita, World Automotive Congress, Seoul, 2000-05-0125;
- [18] Ognjanovic, M. (2008), Masinski elementi, Masinski fakultet, Beograd;
- [19] Ortwein, C. William, Orthwein (2004), Clutches and Brakes, Design and Selection. Chapter 14. Engineering Standards for 978-0-203-02623-6;
- [20] Purohit, R., Khitoliya P., Koli D. K. (2014), Design and Finite Element Analysis of an Automotive Clutch Assembly. Procedia Materials Science 6, 490–502;
- [21] Reatori, C. (1960), Pons & Cantamassa, catalogo No.28, Torino;
- [22] REICHETER (2015), Cataloge;
- [23] Schnkorr (1967), Handbruch fur tellerfedern. Druckschrift der firma A.Schnkorr, Maichingen;
- [24] Schremmer, G. (1965), Konstruktion-Dinamische Festigkeit von Tellerfedern, 473-479;
- [25] Simeonov, S. (1999), Vlijanie na komponentite na strukturata na materijalot za frikcionni obloski za tovarni motorni vozila” doktorska disertacija, Masinski fakultet, Skopje;
- [26] Vukan, V. Z. (1991), Opruge. Bugojno;
- [27] Wook-hee Nam, Choon-yeol Lee, Young S. Chail, Jae-do Kwon (2000), Finite Elements, Analysis and Optimal Deign of Automobile Clutch Diaphragm Spring. FISITA World Automotive Congress,Seoul, Korea. F2000A125;
- [28] Xiuli Guo (2009), Optimal Design on Diaphragm Spring of Automobile Clutch, Harbin, 206-208;
- [29] Zhang Tieshan (2003), Discuss on assumptions of the Almen-Laszlo equation for diaphragm spring. Proceedings of the Automobile Technology,12,12 -14;
- [30] Zink, M., Hausner, M., Welter, R. and Shead, R. (2006), Clutch and release system, 8th LuK SYMPOSIUM. 27-45;
- [31] Данев, Драги, Микаровска, В., Симеонов, С. и др. (1999), Истражување на техничко-технолошките фактори кои ја намалуваат динамичката издржливост на чиниестите пружини. Кочани;

- [32] Данев, Драги, Симеонов, С., Стојанов Л. (1998), Влијание на разјагленородниот слој врз динамичката издржливост на чиниестите пружини од фрикциони спојки од моторни возила. Кочани;
- [33] Динов, В. (1985), Определување на карактеристиките на чиниестите пружини за возила. Машински факултет, Скопје, Магистерски труд;
- [34] Сребренов, Ј. (1999), Фактори кои влијаат на динамичката издржливост на оделни конструктивни облици на чиниестите пружини за фрикциони спојки од моторни возила. Машински факултет, Скопје. Магистерски труд;
- [35] Трајков, С. (1970), Физичка металургија. Металуршки факултет, Скопје.